

Astronomiestudienwoche

Diavolezza, 27. März 2006 - 1. April 2006

Report**Author(s):**

Epprecht, Lukas; Scheller, Christian

Publication date:

2006

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005184092>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Astronomiestudienwoche

Diavolezza, 27. März 2006 - 1. April 2006¹

Lukas Epprecht Christian Scheller
ep@student.ethz.ch cscheller@student.ethz.ch



¹Praktikum für Vorgerückte, ETH Zürich

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	2
2	Positionsbestimmung	3
2.1	Messung	4
2.2	Berechnung des Winkels	4
3	Sonnenfinsternis (29.03.2006)	6
3.1	Ziel der Messung	6
3.2	“On-Off” Messung der Sonne	7
3.3	Auswertung	8
4	Temperatur des Mondes	10
4.1	Ziel der Messung	10
4.2	Verschiedene Messvarianten	10
4.2.1	“On-Off” Messung	10
4.2.2	“Scanfield” Messung	11
4.3	Auswertung	12
5	Probleme und Verbesserungsvorschläge	15
5.1	Teleskop	15
5.2	Programm	16
6	Anhang	17
6.1	Messreihen	17
6.1.1	Powermeter	17
6.1.2	FFT-Integrator	18
6.2	NOAA-Daten	19

Kapitel 1

Zusammenfassung

Die Astronomiewoche der ETH Zürich fand auch dieses Jahr im Oberengadin, auf der Diavolezza statt. In dieser Woche beschäftigten wir uns mit einem Radio-Teleskop, Marke Eigenbau. Ziel war es, die Temperatur des Mondes, mit verschiedenen Messmethoden zu bestimmen. Weiter hat am 29. März 2006 eine partielle Sonnenfinsternis stattgefunden, die wir von unserem Standort aus sehr gut beobachten konnten.

Da der erste Messtag vor allem mit Kalibrierungen des Teleskops verbracht wurde, konnte der Zeitplan vom Proposal nicht ganz eingehalten werden. Bevor eine sinnvolle Messung durchgeführt werden konnte, musste die ganze Apparatur genau nach Süden ausgerichtet werden. Wie dies geschah ist in Kapitel 2 beschrieben. Am Mittwoch stand die Sonnenfinsternis auf dem Programm. Mit einer “On-Off” Messung wurde die Intensität über den ganzen Monddurchlauf gemessen. Mit beachtenswertem Erfolg, wie in Kapitel 3 beschrieben wird. Der Zeitpunkt der maximalen Bedeckung konnte sehr genau festgestellt werden und die prozentuale Abdeckung ist mit einem Fehler von durchschnittlich ca. 5 %, bezüglich den theoretischen Voraussagen, auch genauer als erwartet.

Am 30. März wandten wir uns der Temperaturmessung des Mondes zu. Da wir keine Transitmessung vollziehen konnten (Gründe siehe Kapitel 5), wurde zuerst eine Scan-Field-Aufnahme des Mondes und der Sonne gemacht. Danach haben wir das Ganze noch mit einer “On-Off” Messung durchgeführt, was den Erwartungen entsprechend bessere Resultate lieferte.

Wir bedanken uns bei Christian Monstein, Hansueli Meyer und dem restlichen Betreuerteam für die kompetente Unterstützung und Hilfsbereitschaft.

Kapitel 2

Positionsbestimmung

Um etwas zu messen ist man, wie auf der Erde, auch am Himmel darauf angewiesen, seine Position sehr genau zu kennen. Aus diesem Grund muss man die Position des Teleskops am Himmel sehr genau kennen, was wiederum eine sehr genaue Ausrichtung des Spiegels bezüglich der Südrichtung mit sich bringt. Falls die Teleskopachse von der Erdachse abweicht, ist die Ausrichtung nur an jenem Punkt exakt, der zur Eichung herbeigezogen wurde, z.B. der Azimut oder die Sonne zu Beginn der Messung. Je länger die Messung dauert, oder je weiter weg vom Eichungspunkt die Messung statt findet, desto mehr weicht der Sollwert vom Istwert ab (Siehe Abb. 2.1).

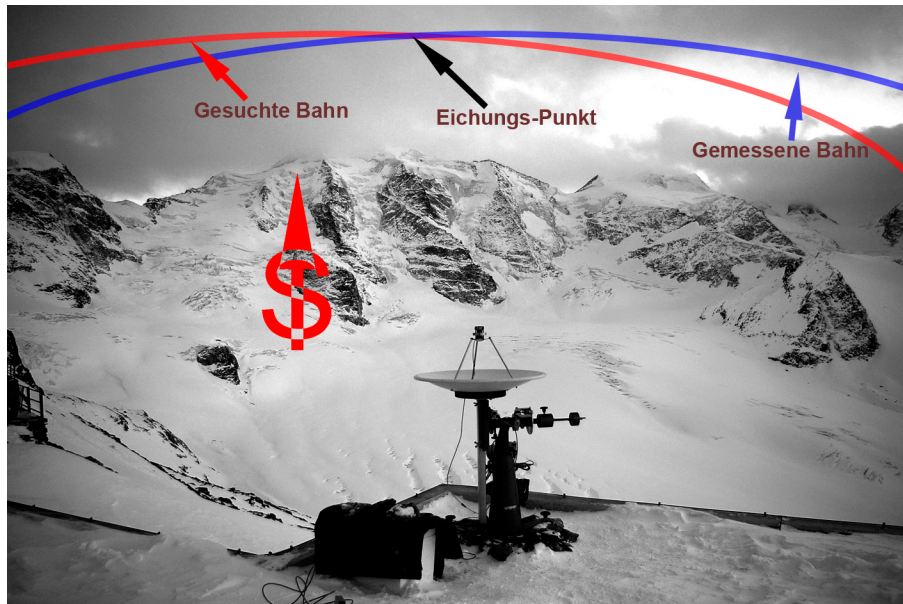


Abbildung 2.1: Durch ungenaue Ausrichtung des Teleskops gibt es Abweichungen zwischen der gemessenen (blau) und der berechneten Bahn (rot). Diese werden grösser, je weiter weg vom Eichungspunkt die Messung statt findet.

Damit die Positionsgenauigkeit gewährleistet ist, muss die Achse des Teleskops genau mit der Nord-Süd-Achse der Erde zusammenfallen. Naheliegender wäre dazu ein Kompass zu verwenden. Da unsere Apparatur aber neben der Seilbahnstation stand, hatte es sehr starke Störfelder, verursacht von den Elektromotoren und einer Hochspannungsleitung. Weiter ist nicht auszuschliessen, dass Teile der Felsen um uns herum magnetisches Gestein enthielten. Durch diese äusseren Einflüsse war es nicht möglich, einen Kompass zu verwenden.

Die Methode, die wir danach anwandten, bestand aus zwei Positionsmessungen und einer trigonometrischen Rechnung.

Zur genauen Messung der Position verwendeten wir ein GPS-System. Die eine Messung fand beim Teleskop statt, die andere etwa 700 m Luftlinie weiter weg, auf einem Vorgipfel des Munt Pers (Siehe Abb. 2.2).

Nach der Aufnahme der Position berechneten wir den Winkel zwischen den zwei Punkten und der Nordrichtung. Aus der erhaltenen Winkeldifferenz ($38.93 \pm 0.84^\circ$) war es möglich, die Nord-Süd-Richtung zu bestimmen und das Teleskop dementsprechend auszurichten.

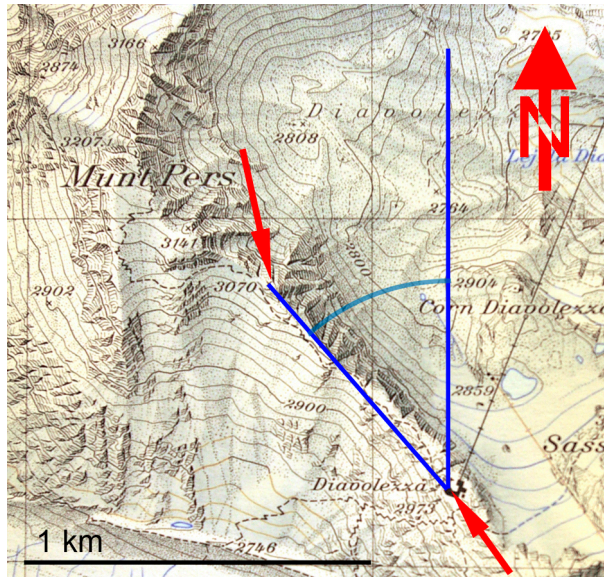


Abbildung 2.2: Die beiden Messpunkte für die GPS-Messung befinden sich beim Standort des Teleskops, beim Gasthaus Diavolezza und auf einem Vorgipfel des Munt Pers (Kartenausschnitt: Schweizer Landeskarte, 1 : 25'000, Blatt 1277)

2.1 Messung

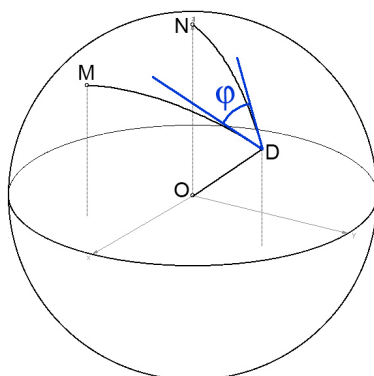
Da auch GPS-Geräte eine gewisse Abweichung aufweisen, nahmen wir an beiden Orten mehrere Messungen vor, 14 beim Teleskop und 26 auf dem Vorgipfel des Munt Pers. Danach wurden die Werte gemittelt. Folgende Resultate wurden erzielt:

	Länge	Breite
Teleskop	$9.96589 \pm 0.00003^\circ$	$46.41363 \pm 0.00004^\circ$
Vorgipfel Munt Pers	$9.95995 \pm 0.00001^\circ$	$46.41870 \pm 0.00002^\circ$

Tabelle 2.1: Mit GPS gemessene Koordinaten

2.2 Berechnung des Winkels

Der gesuchte Winkel ist der Zwischenwinkel der Nord-Richtung und der Verbindungslinie der beiden Punkte (Siehe Abb. 2.3).



- O Erdmittelpunkt
- D Diavolezza (Standort Teleskop)
- M Vorgipfel Munt Pers
- N Nordpol
- φ Zwischenwinkel (gesucht)

Abbildung 2.3:

Zur Berechnung wurde folgendermassen vorgegangen:

1. Die Punkte in Kugelkoordinaten wurden in kartesischen Koordinaten umgerechnet. Dabei wurde der Erdradius für die Diavolezza mit 6371 km angenommen (durchschnittlicher Radius der Erdkugel), für den 2. Punkt (Munt Pers) 100 Meter höher, also 6371.1 km. (Dies spielt nur für die Fehlerrechnung eine Rolle.)
2. Um den Zwischenwinkel zu berechnen, müssen zuerst die Tangentialrichtungen von der Diavolezza gegen Norden und gegen den 2. Punkt berechnet werden. Für die Tangente in Nordrichtung geschieht das mit folgender Formel:

$$\vec{T}_{\text{Nord}} = \vec{OD} \times (\vec{ON} \times \vec{OD}) \quad (2.1)$$

für die 2. Tangente mit:

$$\vec{T}_{\text{MuntPers}} = (\vec{OD} \times \vec{OM}) \times \vec{OD} \quad (2.2)$$

Den Zwischenwinkel berechnet man mit dem Cosinussatz:

$$\varphi = \arccos \left(\frac{\vec{T}_{\text{MuntPers}} \cdot \vec{T}_{\text{Nord}}}{|\vec{T}_{\text{MuntPers}}| \cdot |\vec{T}_{\text{Nord}}|} \right) \quad (2.3)$$

Daraus folgt,

$$\varphi = 38.93 \pm 0.84^\circ \quad (2.4)$$

Kapitel 3

Sonnenfinsternis (29.03.2006)

3.1 Ziel der Messung

Bei der partiellen Sonnenfinsternis vom 29.03.2006 beträgt die maximale Flächenbedeckung der Sonne durch den Mond auf der Diavolezza 37%. Die maximale Überdeckung ist um 12:36 erreicht.

Ziel dieser Messung ist es mit dem Radioteleskop eine Intensitätsmessung der Sonne durchzuführen um so den Zeitpunkt, sowie den Grad der maximalen Überdeckung experimentell zu ermitteln. Weil die Intensität proportional zur Fläche ist, kann aus der Intensitätsmessung der Sonne direkt auf deren optische Bedeckung geschlossen werden. Den Nullpunkt der Intensitätsskala erhält man, indem man das Rauschen des freien Himmels aufnimmt. Deshalb wird mit der sogenannten “On-Off” Methode gemessen. Dabei wird das Teleskop abwechselnd auf die Sonne bzw. den Hintergrund (Himmelsausschnitt ohne Satelliten und andere Störobjekte) gerichtet. Das Hintergrundrauschen (y_R) wird anschliessend linear interpoliert, während das Signal (y_S) mit einer Gaußkurve approximiert wird.

$$y_R = a + b \cdot x \quad (3.1)$$

$$y_S = y_0 + c \cdot e^{\frac{(x-x_0)^2}{d}} \quad (3.2)$$



Abbildung 3.1: Aufnahme der Sonnenfinsternis im optischen Bereich, durch das Newton-Teleskop. Eine grafische Analyse der prozentualen Abdeckungsfläche hat genau die erwarteten 37 % ergeben.

3.2 “On-Off” Messung der Sonne

Das Radioteleskop liefert Datenpunkte in einem Frequenzbereich von ca. 10 – 13 GHz. Mit einem Powermeter kann man eine Frequenz einstellen, welche dann ausgelesen wird (analog zu einem Satellitenreceiver). Wir haben uns entschieden bei einer Frequenz von 10.5 GHz zu messen, weil diese unterhalb der Sendefrequenzen der Satelliten liegt (zum Zeitpunkt der Sonnenfinsternis fällt die Mondbahn ziemlich genau mit dem Band der geostationären Satellitenbahnen zusammen). Ausserdem ist das Radioteleskop in diesem Frequenzbereich sehr sensibel.

Der Intensitätsverlauf der Sonne wurde während ca. 3 Stunden (von 9:49 bis 14:52) mit der “On-Off” Methode gemessen. Dabei wird das Teleskop abwechselungsweise jeweils eine Minute lang auf den Mond bzw. den freien Himmel (+10° Deklination) gerichtet. Dazwischen braucht das Teleskop Zeit zum Schwenken und um sich bei den neuen Koordinaten einzupendeln.

Das Powermeter ist an die Steuerung des Teleskops gekoppelt. Es zeichnet nur Messpunkte auf, wenn das Teleskop “On-source” (auf die Sonne gerichtet), bzw. “Off-source” (auf den Hintergrund gerichtet) ist. Während der Schwenkzeit nimmt das Powermeter keine Daten auf.

Die vom Powermeter aufgezeichneten Daten enthalten neben der Intensitätsangabe auch noch Informationen über die Aufzeichnungszeit und die Stellung des Teleskops zu jedem Messpunkt.

Zusätzlich wurde der ganze Frequenzbereich von 10.35 GHz bis 10.75 GHz mit einem FFT-Integrator (Fast Fourier Transformation Integrator) in Frequenzschritten von 24 kHz aufgezeichnet. Der FFT-Integrator ist nicht an die Steuerung des Teleskops gekoppelt und liefert somit in gleichmässigen Abständen (abhängig von der Integrationszeit) Messpunkte, unabhängig davon, ob sich das Radioteleskop “On-source” oder “Off-source” befindet. Ausserdem wird jeder Messpunkt des FFT-Integrators bloss mit einer Zahl abgespeichert, welche proportional zur gemessenen Intensität ist. Durch Abgleichen mit der Messkurve des Powermeters kann die Zeit der Messpunkte des FFT-Integrators ermittelt werden. Im Anhang sind die 10.5 GHz Kurve des Powermeters und des FFT-Integrators abgebildet (siehe Anhang 6.1).

Es hat sich herausgestellt, dass der Frequenzbereich von 10.5 ± 0.03 GHz, bei den Bedingungen am 29.03.2006 auf der Diavolezza, starke Störungen aufwies (siehe Abb. 3.2). Deshalb war diese Messung für eine anschliessende Auswertung der Daten unbrauchbar. Von 13:36-14:35 Uhr ist das Signal fast vollständig zusammengebrochen. Dieser Zusammenbruch ist auch in allen Messreihen des FFT-Integrators zu sehen. Da das Rauschen in diesem Bereich unverändert bleibt und das “On-source” Signal zu klein ist, kann daraus geschlossen werden, dass das Teleskop die Sonne während dem “On-source” Vorgang, nicht mehr richtig anpeilte. Um 14:35 wurde das Teleskop wieder neu ausgerichtet. Deshalb stimmen die Messpunkte nach 14:35 wieder einigermassen.

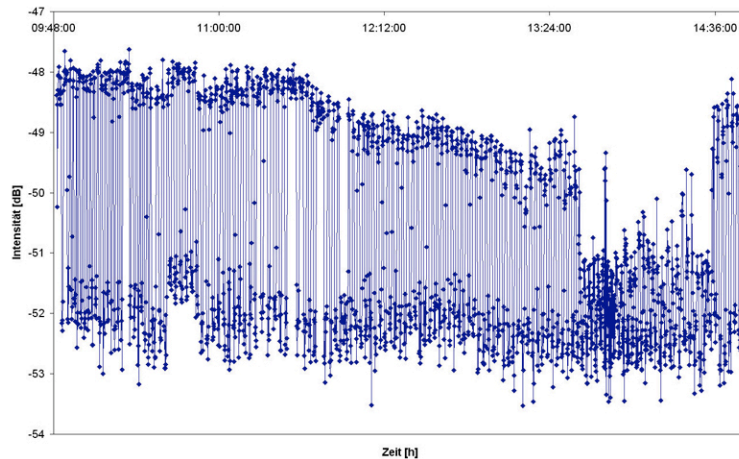


Abbildung 3.2: “On-Off” Messung der Sonne bei 10.5 GHz mit dem Powermeter (29.03.2006). Aus ungeklärten Gründen war diese Frequenz gestört, wodurch eine sinnvolle Analyse hinfällig wurde.

Beim FFT-Integrator wurden 7 verschiedene Frequenzen herausgelesen, mit welchen eine anschliessende Analyse gemacht wurde. Die 10.5 GHz Reihe ist überall aufgeführt, wird aber für Mittelwerte etc. nicht verwendet.

$$\begin{array}{llll} \nu_1 = 10.4 \text{ GHz} & \nu_3 = 10.5 \text{ GHz} & \nu_5 = 10.6 \text{ GHz} & \nu_7 = 10.7 \text{ GHz} \\ \nu_2 = 10.45 \text{ GHz} & \nu_4 = 10.55 \text{ GHz} & \nu_6 = 10.665 \text{ GHz} & \end{array}$$

3.3 Auswertung

Am Beispiel der $\nu_7 = 10.7$ GHz Messreihe (siehe Abb. 3.3) wird nun die Auswertung demonstriert.

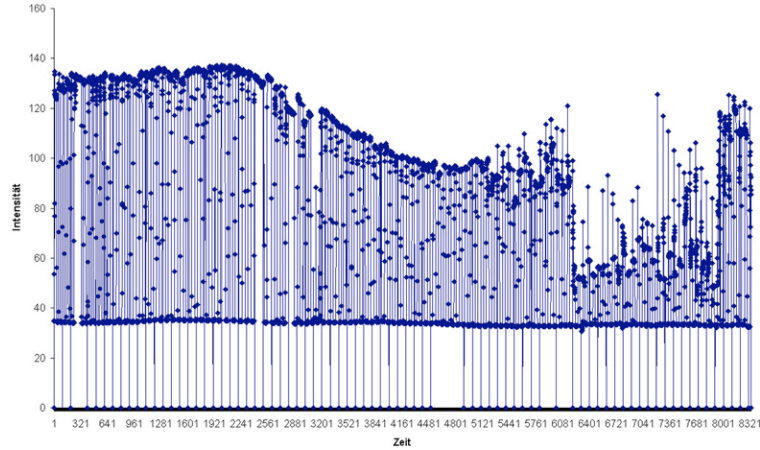


Abbildung 3.3: “On-Off” Messung der Sonne bei 10.7 GHz mit dem FFT-Integrator (29.03.2006). Es ist ein deutlicher Signalabfall zur Zeit der maximalen Überdeckung zu sehen.

Mit einem Filter werden zuerst Messpunkte entfernt, die während dem Schwenken des Teleskops aufgenommen wurden. Dies ist notwendig, denn diese Punkte sollten nicht in den Fit einbezogen werden. Das Hintergrundrauschen (y_R) wird über den ganzen Zeitraum der Messung linear interpoliert. Das Signal (y_S) der Sonne wird mit einer Gaußkurve approximiert, wobei nur Messpunkte, die vor dem Zusammenbruch des “On-source” Signals stattgefunden haben (vor 13:36 Uhr), berücksichtigt werden. Für die 10.7 GHz Reihe findet man folgende Funktionen und Konstanten, die in Tabelle 3.1 aufgelistet und in Abb. 3.4 grafisch dargestellt sind.

Hintergrundrauschen:	$y_R = a + b \cdot x = 40.5 - 0.000146 \cdot x$	(lineare Interpolation)
Koeffizienten:	$a = (40.5 \pm 0.3) \text{ dB} ; b = (1.46 \pm 0.07) \cdot 10^{-4} \text{ dB} \cdot \text{s}^{-1}$	
“On-source” Signal:	$y_S = y_0 - c \cdot e^{\frac{(x-x_0)^2}{d^2}} = 132.9 - 37.6 \cdot e^{\frac{(x-45218)^2}{3195^2}}$	(Gauss-Interpolation)
Koeffizienten:	$y_0 = (132.9 \pm 0.3) \text{ dB} ; c = (37.6 \pm 0.4) \text{ dB}$ $x_0 = (45218 \pm 65) \text{ dB} ; d = (3196 \pm 083) \text{ dB}$	

Tabelle 3.1: Funktionen und Konstanten für die 10.7 GHz Kurve

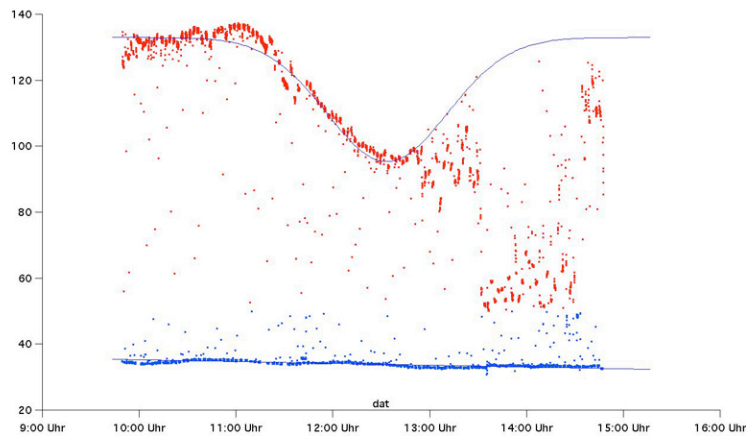


Abbildung 3.4: “On-Off” Messung der Sonne bei 10.7 GHz mit Plots der in Tabelle 3.1 aufgeführten Interpolationsfunktionen.

Der Zeitpunkt maximaler Überdeckung t_M ist erreicht, wenn $x = x_0$ ist. Nach der Umrechnung in Stunden, Minuten und Sekunden erhält man:

$$t_M = 12:33:38 \pm 00:01:05$$

Der theoretische Wert von t_M liegt bei 12:36.

Um die prozentuale Abdeckung f zu erhalten, muss der Quotient aus dem schwächsten und dem stärksten “On-source” Signal (jeweils auf das Hintergrundrauschen bezogen) gebildet werden.

$$f = \left(1 - \frac{y_S(x_0) - y_R(x_0)}{y_0 - y_R(x_0)} \right) \cdot 100\% \Rightarrow f = (38 \pm 0.5)\% \quad (3.3)$$

Die gemessene Intensitätsverminderung beträgt 38%. Mit den theoretischen Werten für den Zeitpunkt bzw. Grad der Überdeckung stimmen die experimentell bestimmten Werte überein. In der folgenden Tabelle 3.2 sind die so gewonnenen Zeiten der maximalen Überdeckung, sowie deren Überdeckungsgrad, aufgelistet. Beim Mittelwert wurde die 10.5 GHz Messreihe nicht einbezogen, da sie starke Störungen aufwies.

Frequenz [GHz]	Zeit der Überdeckung	Überdeckungsgrad in %
10.4	12 : 34 : 22 \pm 00 : 01 : 19	41.22 \pm 0.67
10.45	12 : 28 : 52 \pm 00 : 00 : 55	38.65 \pm 0.62
10.5	12 : 53 : 13 \pm 00 : 02 : 44	40.05 \pm 1.14
10.55	12 : 26 : 13 \pm 00 : 00 : 47	39.95 \pm 0.63
10.6	12 : 28 : 30 \pm 00 : 00 : 26	36.10 \pm 0.55
10.665	12 : 33 : 37 \pm 00 : 00 : 47	41.70 \pm 0.49
10.7	12 : 33 : 38 \pm 00 : 01 : 05	38.27 \pm 0.55
Mittelwert	12 : 30 : 51 \pm 00 : 02 : 16	39.32 \pm 1.44
Theoretischer Wert	12 : 36	37%

Tabelle 3.2: Gemessene und theoretische Daten zur Sonnenfinsternis vom 29.03.2006

Kapitel 4

Temperatur des Mondes

4.1 Ziel der Messung

Die Temperatur des Mondes variiert während einer Mondphase sehr stark (ca. $100\text{ }^{\circ}\text{K}$) von ca. $180\text{ }^{\circ}\text{K}$ – $280\text{ }^{\circ}\text{K}$. Dies kommt daher, dass die Dauer eines Mondtages (Mondphase) 28 Tage beträgt (und nicht nur 24 Stunden wie auf der Erde). Die Sonnenseite des Mondes hat also sehr viel Zeit um sich aufzuwärmen, während die Schattenseite viel Zeit hat um abzukühlen. Ausserdem besitzt der Mond keine Atmosphäre, welche als Puffer dienen könnte, was ebenfalls zum grossen Temperaturunterschied beiträgt.

Ziel dieser Messung ist es, die momentane Oberflächentemperatur des Mondes zu bestimmen. Dazu wird eine Vergleichsmessung mit der Sonne durchgeführt. Der Sonnenfluss, welcher sehr genau dokumentiert ist (NOAA-Daten [3]), wird dabei als bekannt vorausgesetzt.

4.2 Verschiedene Messvarianten

Die Temperatur des Mondes wurde mit zwei unterschiedlichen Methoden bestimmt, welche anschliessend kurz erklärt werden. Sie unterscheiden sich lediglich darin, wie die Differenz zwischen “On-source” Signal und dem Hintergrundrauschen (bei Sonne bzw. Mond) gemessen wird. Die Berechnung der Temperatur funktioniert in beiden Fällen gleich.

4.2.1 “On-Off” Messung

Weil der Mond eine sehr schwache Quelle ist, wird der ganze Frequenzbereich von 10.35 - 10.75 GHz zusammengefasst, um ein möglichst starkes Signal zu erhalten. Anschliessend wird eine “On-Off” Messung des Mondes gemacht, analog zur Messung der Sonnenfinsternis (siehe Kapitel 3.2).

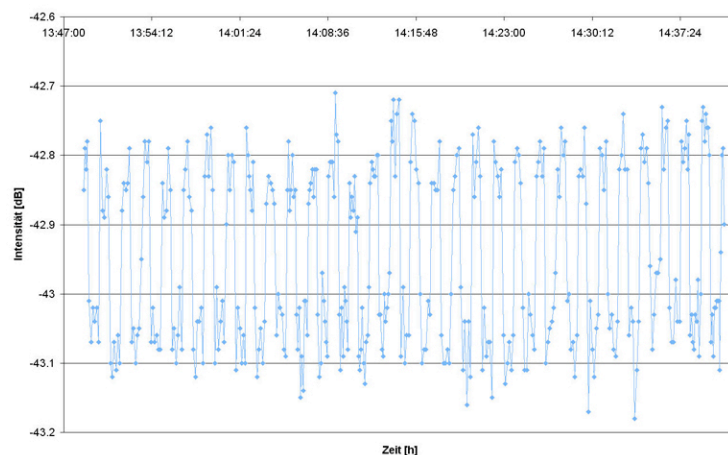


Abbildung 4.1: “On-Off” Messung des Mondes im Frequenzbereich 10.35-10.75 GHz (30.03.2006)

Wie man anhand von Abb. 4.1 sieht, beträgt die Differenz zwischen “On-source” Signal und dem Hintergrundrauschen nur etwa 0.25 dB. Die Schwankungen des Signals, bzw. dem Rauschen betragen ca. 0.04 dB. Das heisst, wir haben ein schlechtes “Signal to noise” Verhältnis. Weil diese Differenz linear in die Temperatur des Mondes eingeht, ist allein schon von der “On-Off” Messung des Mondes ein Fehler von etwa 15% zu erwarten.

Zur Auswertung sind alle Datenpunkte eines “On-source” bzw. “Off-source” Vorgangs zu einem einzigen Datenpunkt zusammengefasst worden. Anschliessend wurde der Mittelwert aller “On-source” bzw. “Off-source” Punkte gebildet. Man findet folgende Werte für das Signal ($y_{S(M)}$) bzw. das Rauschen ($y_{R(M)}$):

$$\begin{aligned} y_{S(M)} &= (-42.816 \pm 0.027) \text{ dB} \\ y_{R(M)} &= (-43.058 \pm 0.019) \text{ dB} \end{aligned}$$

Als Nullpunkt der Intensitätsskala wurde wiederum das Hintergrundrauschen gewählt. Somit erhält man für die Signalstärke (y_M) des Mondes:

$$y_M = (y_{S(M)} - y_{R(M)}) = (0.242 \pm 0.033) \text{ dB}$$

Dieselbe Messung wird nun für die Sonne durchgeführt. Da sich die Sonne nicht am selben Ort wie der Mond befindet und weil die Messung an einem anderen Tag durchgeführt wurde, ist das Hintergrundrauschen nicht identisch und muss somit nochmals neu aufgezeichnet werden. In der folgenden Abbildung ist die Messreihe der Sonne dargestellt.

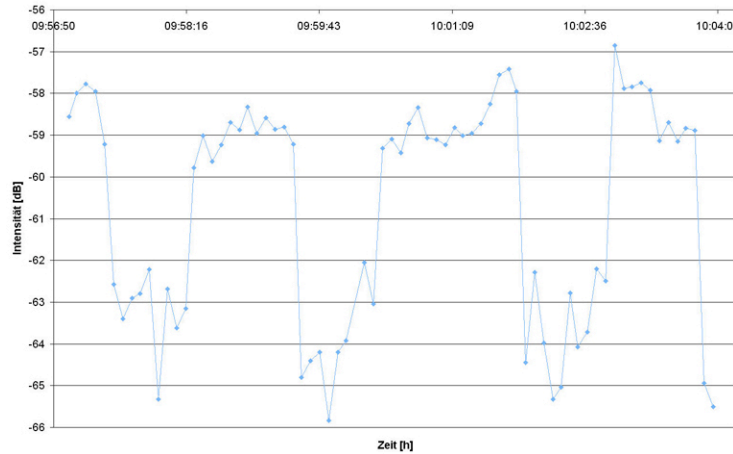


Abbildung 4.2: “On-Off” Messung der Sonne im Frequenzbereich 10.35-10.75 GHz (31.03.2006)

Die Datenpunkte sind wieder auf die gleiche Art und Weise wie beim Mond zusammengefasst worden. Anschliessend wurde wieder der Mittelwert der “On-source” bzw. “Off-source” Datenpunkte gebildet. Somit erhält man für das Signal der Sonne ($y_{S(S)}$), bzw. des Hintergrundrauschens ($y_{R(S)}$) folgende Werte:

$$\begin{aligned} y_{S(S)} &= (-58.57 \pm 0.34) \text{ dB} \\ y_{R(S)} &= (-64.03 \pm 0.86) \text{ dB} \end{aligned}$$

Die Signalstärke der Sonne erhält man einfach durch die Differenz dieser beiden Werte:

$$y_S = (y_{S(S)} - y_{R(S)}) = (5.45 \pm 0.94) \text{ dB}$$

Wie man sieht, sind die Schwankungen der Sonnenmessung (Abb. 4.2) viel grösser, als die der Mondmessung (Abb. 4.1). Somit ist auch der Fehler viel grösser. Dies hängt damit zusammen, dass es an diesem Tag sehr starken Wind hatte. Dadurch wurde das Radioteleskop (die Schlüssel) regelrecht durchgeschüttelt. Durch diese Störung war das Signal des Mondes an diesem Tag überhaupt nicht sichtbar.

4.2.2 “Scanfield” Messung

Als zweite Messmethode wurde noch ein Scanfield der Sonne und des Mondes gemacht. Bei dieser Methode wird eine grosse Fläche ($10^\circ \times 10^\circ$) abgerastert und jeweils die Intensität aufgezeichnet. Die Daten werden in einer Matrix abgespeichert, welche anschliessend mit dem Programm “Power pattern” graphisch dargestellt werden kann (siehe Abb. 4.3).

Rot bedeutet hohe Intensität und gegen blau, violett nimmt die Intensität ab. Dies ist keine absolute Skala. Die Messpunkte mit grösster Intensität (pro Bild) werden somit rot eingefärbt, unabhängig davon, was deren absolute Intensität ist. Um einen direkten Vergleich der Intensitäten von Sonne und Mond zu erhalten, werden die beiden Matrizen mit MathCAD noch 3-dimensional dargestellt (siehe Abb. 4.4).

In Abb. 4.4 sieht man sehr gut, dass die Intensität des Mondes, im Vergleich zur Intensität der Sonne, verschwindend klein ist. Man erkennt ebenfalls, dass das Hintergrundrauschen bei den beiden Himmelskörper nicht gleich stark ist.

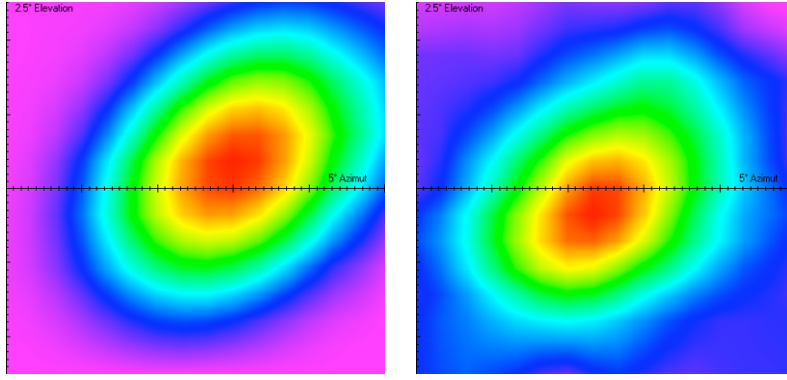


Abbildung 4.3: Scanfield Messung (links: Sonne; rechts: Mond). Die Objekte sind gegen oben rechts verzerrt, da sie ihre Position während des Scans ändern. Aus der Rastergeschwindigkeit des Teleskops und der Verzerrung der Objekte, kann auf die relative Geschwindigkeit der Himmelskörper (bezüglich der Erde) geschlossen werden.

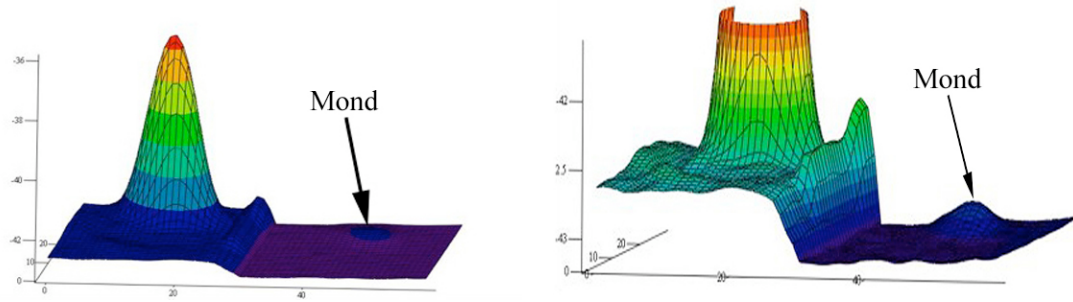


Abbildung 4.4: Scanfield von Sonne und Mond, dargestellt mit MathCAD

Zur Ermittlung der Signalstärke wurden jeweils die Werte mit höchster bzw. tiefster Intensität gemittelt. Dabei ist darauf zu achten, dass eine vernünftige Anzahl Datenpunkte gewählt wird. Bei der Sonne ist die Intensitätsspitze sehr schmal, d.h. es dürfen nur wenig Messpunkte gemittelt werden, da man sonst einen zu tiefen Wert für die maximale Intensität erhält. Beim Mond ist die Intensitätsspitze nicht so scharf, d.h. man kann mehr Wert zur Bildung des Mittelwerts verwenden. Zur Berechnung des Hintergrundrauschens sollte eine grosse Anzahl Datenpunkte verwendet werden, da dort sowohl die tiefsten, als auch die höchsten Werte (des Rauschens) berücksichtigt werden müssen. Auf diese Art und Weise erhält man folgende Intensitätswerte:

	Sonne	Mond
	$y_{S(S)} = (-36.70 \pm 0.08) \text{ dB}$	$y_{S(M)} = (-42.948 \pm 0.024) \text{ dB}$
	$y_{R(S)} = (-42.96 \pm 0.03) \text{ dB}$	$y_{R(M)} = (-43.163 \pm 0.004) \text{ dB}$
Differenz:	$y_S = (6.26 \pm 0.09) \text{ dB}$	$y_M = (0.216 \pm 0.024) \text{ dB}$

Tabelle 4.1: Intensitätswerte der Sonne und des Mondes mit der “Scan-Field-Methode”

4.3 Auswertung

Zur Berechnung der Oberflächentemperatur des Mondes wurde der Sonnenfluss (S), welcher sehr genau protokolliert wird (NOAA Daten [3]), als bekannt vorausgesetzt (Die Berechnung erfolgt analog zu jener im Paper von M. Battaglia [1]). Mit Hilfe der effektiven Spiegelfläche (A_{eff}) lässt sich die Antennentemperatur der Sonne ($T_{Sonne, Antenne}$) berechnen. Um die effektive Spiegelfläche (A_{eff}) zu erhalten, muss ausserdem der Wirkungsgrad (η) der Apparatur, sowie der Spiegeldurchmesser (D) bekannt sein.

$$A_{eff} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \eta \quad (4.1)$$

$$T_{Sonne, Antenne} = \frac{S}{2} \frac{A_{eff}}{k_{Boltzmann}} \quad (4.2)$$

Der Faktor $\frac{1}{2}$ bei der Berechnung der Antennentemperatur (Glg. 4.2) kommt daher, dass nur eine Polarisationsrichtung berücksichtigt wird. Somit wird jeweils nur die halbe Intensität gemessen. Aus der Signalstärke (siehe Tabelle 4.1) werden die sogenannten Y-Faktoren (Y_{Mond}, Y_{Sonne}) berechnet, aus welchen sich dann die Antennentemperatur des Mondes ($T_{Mond, Antenne}$) ermitteln lässt.

$$Y_{Mond} = 10^{\frac{y_M}{10}} \quad (4.3)$$

$$T_{Mond, Antenne} = T_{Sonne, Antenne} \cdot \frac{Y_{Mond} - 1}{Y_{Sonne} - 1} \quad (4.4)$$

Mit dem scheinbaren Durchmesser des Mondes (θ_{Mond}) und der Keulbreite auf halber Strahlhöhe (half power beam width: d_{HPBW}) lässt sich schlussendlich die Oberflächentemperatur des Mondes bestimmen.

$$T_{Disc} = T_{Mond, Antenne} \cdot \left(\frac{d_{HPBW}}{\theta_{Mond}} \right)^2 \quad (4.5)$$

Man erhält nun folgende Temperatur für den Mond:

	T_{Disc}
“On-Off” Messung:	$164 \pm 58 \text{ °K}$
Scanfield Messung:	$139 \pm 30 \text{ °K}$

Tabelle 4.2: Temperatur des Mondes mit den beiden beschriebenen Messmethoden

Da der Mond eine sehr schwache Quelle ist, die im Hintergrundrauschen beinahe untergeht und da wir nur ein 0.96 m Radioteleskop zur Verfügung hatten, sind diese grossen Fehler und die Abweichung zum theoretischen Wert von 220 – 225 °K nicht weiter erstaunlich. In den folgenden Tabellen (Tabelle 4.3 und 4.4) sind alle gemessenen oder berechneten Parameter, inklusive deren Fehler, aufgelistet:

Parameter	Wert	Scanfield		
		Einheit	Fehler	
D	0.95	[m]	0.01	Annahme
η	0.5		0.05	Annahme
A_{eff}	0.36	[m ²]	0.036	Rechnung
$k_{Boltzmann}$	1.38E-23	[J·°K ⁻¹]	—	
S	3.24E-20	[sfu]	7.00E-22	Rechnung
$T_{Sonne, Antenne}$	4.23E+02	[°K]	43.49	Rechnung
y_M	0.263	[dB]	0.047	Rechnung
y_S	6.26	[dB]	0.086	Rechnung
$y_{S(M)}$	-42.948	[dB]	0.024	Rechnung
$y_{R(M)}$	-43.163	[dB]	0.04	Rechnung
$y_{S(S)}$	-36.70	[dB]	0.079	Rechnung
$y_{R(S)}$	-42.96	[dB]	0.034	Rechnung
Y_{Mond}	1.06		0.011	Rechnung
Y_{Sonne}	4.23		0.084	Rechnung
$T_{Mond, Antenne}$	8.18	[°K]	1.73	Rechnung
d_{HPBW}	2.27		0.03	Annahme
θ_{Mond}	0.55		0.01	Annahme
T_{Disc}	139.3	[°K]	30.1	Rechnung

Tabelle 4.3: Parameter für die Scanfieldmessung

Parameter	“On-Off” Messung				
	Wert	Einheit	Fehler		
D	0.95	[m]	0.01		Annahme
η	0.5		0.05		Annahme
A_{eff}	0.36	[m ²]	0.036	Rechnung	
$k_{Boltzmann}$	1.38E-23	[J·°K ⁻¹]	—		
S	3.24E-20	[sfu]	7.00E-22	Rechnung	
$T_{Sonne, Antenne}$	4.23E+02	[°K]	43.49	Rechnung	
y_M	0.242	[dB]	0.033	Rechnung	
y_S	5.455	[dB]	0.94	Rechnung	
$y_{S(M)}$	-42.816	[dB]	0.027	Rechnung	
$y_{R(M)}$	-43.058	[dB]	0.019	Rechnung	
$y_{S(S)}$	-58.57	[dB]	0.34	Rechnung	
$y_{R(S)}$	-64.03	[dB]	0.86	Rechnung	
Y_{Mond}	1.06		0.0081	Rechnung	
Y_{Sonne}	3.51		0.76	Rechnung	
$T_{Mond, Antenne}$	9.64	[°K]	3.37	Rechnung	
d_{HPBW}	2.27		0.03		Annahme
θ_{Mond}	0.55		0.01		Annahme
T_{Disc}	164.3	[°K]	57.9	Rechnung	

Tabelle 4.4: Parameter für die “On-Off-Messung”

Kapitel 5

Probleme und Verbesserungsvorschläge

5.1 Teleskop

- Das erste Problem, das sich stellte war, dass eine genaue Ausrichtung des Spiegels nur sehr schwer zu erreichen war und nur nach 'Augenmass' erfolgte. Dies hat verschiedene Gründe.
 - Der wichtigste ist sicher, dass das Teleskop keine Zieleinheit hat. Es wäre sinnvoll, parallel zur Stundenachse ein kleines Zielfernrohr oder immerhin ein Visier zu montieren, damit die genaue Ausrichtung dadurch erfolgt und nicht nur über die Parallelität des einen Sockelfusses zu einem Seil.
 - Hierbei sind wir beim zweiten Punkt. Der Sockel muss für das Ausrichten des ganzen Spiegels rotiert werden. Besser wäre eine weitere drehbare Stelle im Sockel mit einer Winkelangabe (Abb. 5.1). Somit könnte der Fuss fest verankert werden und danach nur noch der Spiegel in die gewünschte Richtung gedreht werden. Mit der Winkelanzeige wäre es nicht mehr nötig Seile zu spannen, die immer mit einem gewissen Fehler behaftete Winkelmessungen mit sich bringen (Seillängen, rechte Winkel in den Seilen, etc.). Einfacher wäre es, das Teleskop mit der Zieleinheit auf ein genau definiertes Ziel zu richten und dann die Winkeldifferenz zur Nordrichtung zu bestimmen (mittels GPS oder anhand von Landkarten). Die Differenz könnte danach einfach auf der Winkelanzeige beim Gelenk zwischen Sockel und Antenne abgelesen und eingestellt werden (Siehe dazu Abb. 5.1).

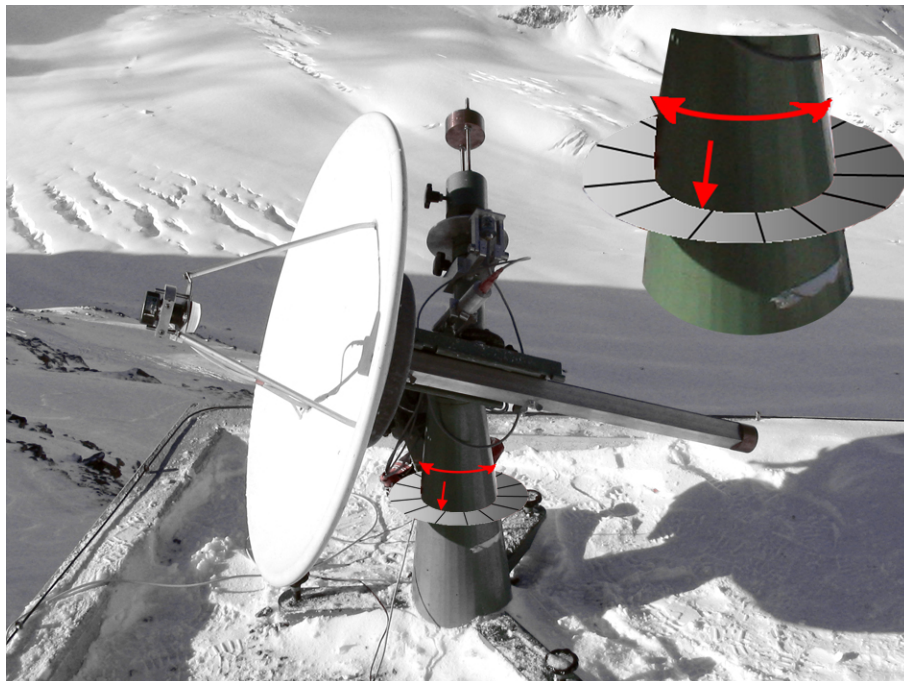


Abbildung 5.1: Vorschlag für eine Winkelscheibe am Teleskop. Die Teile über und unter der Scheibe sind gegeneinander verdreh- und arretierbar.

- Ein weiteres Problem war die Kälte. Durch die eisigen Temperaturen, den Wind und dem damit verbundenen Schneegestöber gab es Eisablagerungen auf den Winkelmessscheiben. Dadurch “wusste” das Teleskop, bzw. seine Software nicht mehr so genau wo es sich befindet und die Motoren arbeiteten irgendwie. Einmal kam es vor, dass der Spiegel eine 360°-Drehung ausführte, ohne dass es jemand bemerkte. Glücklicherweise war in jenem Fall nichts im Weg, so dass der Spiegel sich ohne Beschädigung drehen konnte.

Dieses Problem war auch der Grund, weshalb wir keine Passage-Messungen vornehmen konnten. Es war nie sicher, ob das Teleskop wirklich an seinem Platz bleibt, oder ob es sich wieder selbständig machen würde. Die einzige Möglichkeit wäre gewesen, an den gewünschten Ort zu fahren und dann das Teleskop manuell abzuschalten (Strom der Motoren kappen oder auf Handsteuerung stellen).

5.2 Programm

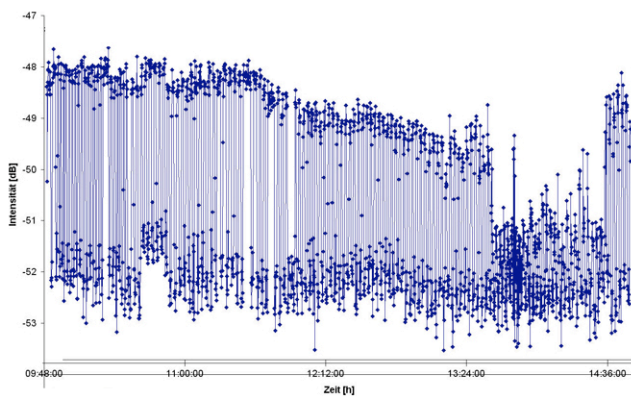
Für verschiedene Messungen wurden unterschiedliche Programme benötigt, die untereinander nur bedingt kompatibel waren. Es durften nie beide gleichzeitig laufen, da das Teleskop sonst nicht mehr “wusste”, von wem es die Steuerbefehle verwenden soll. Das führte dazu, dass ein Programm zur Eichung der Antenne gebraucht wurde, mit dem in den Azimut oder auf die Sonne gefahren wurde. Danach musste das Programm so schnell wie möglich geschlossen und das andere geöffnet werden, um die Messungen ohne grosse Abweichungen zu starten. Es wäre erstrebenswert, diese beiden Programme (“On-Off” Messung und Scanfield) in einem einzigen zu vereinen.

Kapitel 6

Anhang

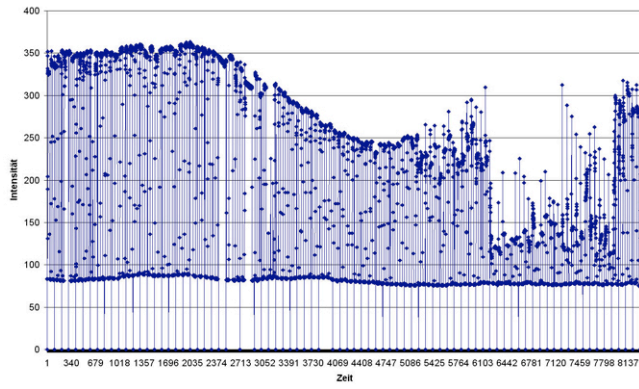
6.1 Messreihen

6.1.1 Powermeter

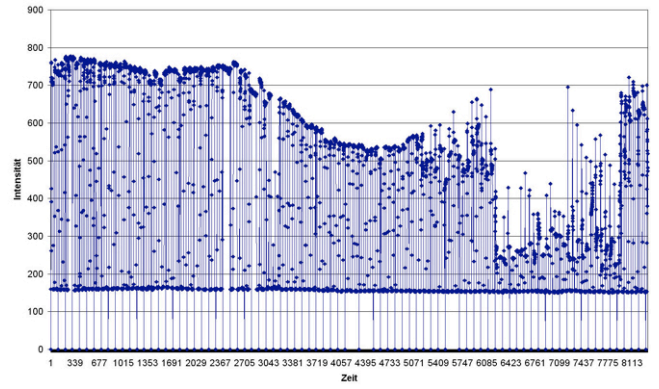


10.5 GHz-Linie, gemessen mit dem Powermeter.

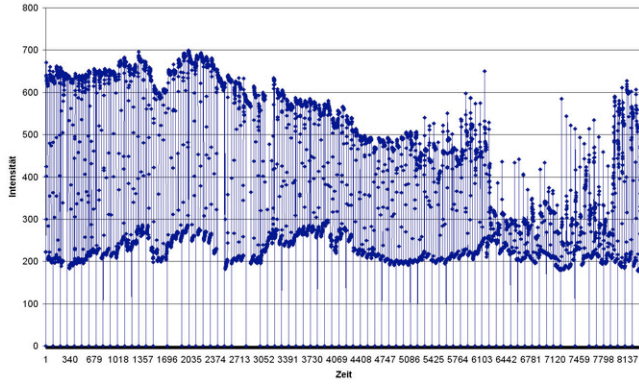
6.1.2 FFT-Integrator



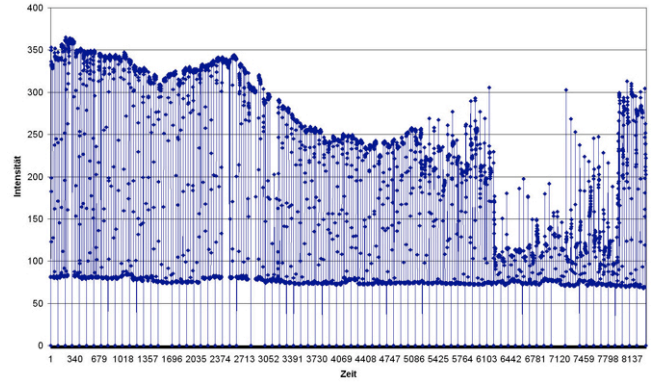
10.4 GHz



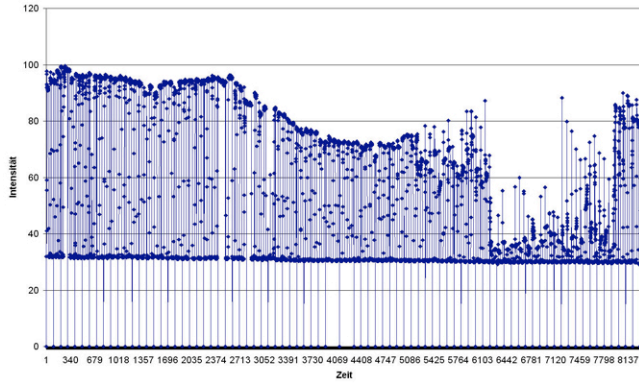
10.45 GHz



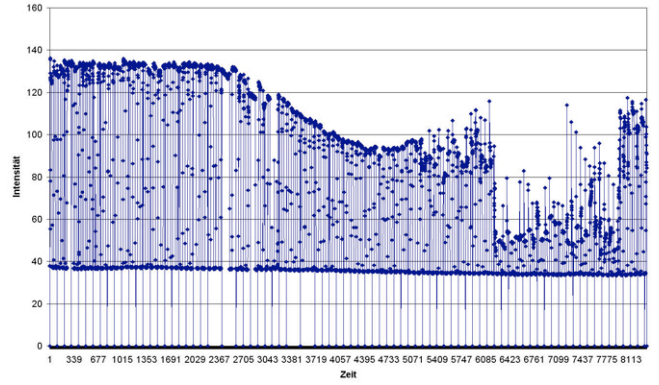
10.5 GHz



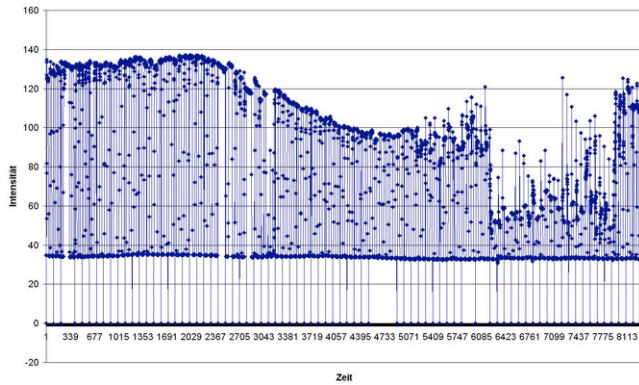
10.55 GHz



10.6 GHz



10.665 GHz



10.7 GHz

6.2 NOAA-Daten

Alle Werte sind in $10^{-22} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{Hz}}$ angegeben. Leere Felder gibt es, wenn von der betreffenden Station keine Werte vorliegen.

Daten von NOAA [3] für den 30. März 2006:

Freq MHz	Learmonth 0400 UTC	San Vito 1100 UTC	Hill Sag 1600 UTC	Penticton 1700 UTC	Penticton 2000 UTC	Palehua 2200 UTC	Penticton 2300 UTC
245		11	9			10	
410			25			19	
610			32			26	
1415		44	47			43	
2695		88	87			85	
2800				84	84		85
4995		142	137			118	
8800		229	212			171	
15400		512	552			305	

Daten von NOAA [3] für den 31. März 2006:

Freq MHz	Learmonth 0400 UTC	San Vito 1100 UTC	Hill Sag 1600 UTC	Penticton 1700 UTC	Penticton 2000 UTC	Palehua 2200 UTC	Penticton 2300 UTC
245		11	15			11	
410		22	26			20	
610			31			28	
1415		46	49			47	
2695		90	89			89	
2800				85	86		86
4995		146	139			133	
8800		234	223			210	
15400		516	544			447	

Literaturverzeichnis

- [1] BATTAGLIA, M. Moon disc temperature as a function of phase at 1700 mhz. ETH Zürich, 13. 03 2003.
- [2] MONSTEIN, CH. The moon's temperature at $\lambda = 2.77$ cm. ETH Zürich, 2001.
- [3] solar radio flux data; <http://www.sel.noaa.gov/ftpmenu/lists/radio.html>